

© Шошина И.И., 2026; © Ляпунов С.И., 2026;
 © Моритц А.А., 2026; © Бадалов А.А., 2026;
 © Завитаев П.Ю., 2026; © Пивняков М.Л., 2026;
 © Лиманкин О.В., 2026; © Ляпунов И.С., 2026

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

УДК/UDC: 616.895.8; 616.89-02-085; 612.821
<https://doi.org/10.30629/2618-6667-2026-24-1-54-63>

Окулярный микротремор при расстройствах шизофренического спектра в процессе стабилизации психического состояния

Шошина И.И.¹, Ляпунов С.И.², Моритц А.А.¹, Бадалов А.А.¹, Завитаев П.Ю.³, Пивняков М.Л.³, Лиманкин О.В.³, Ляпунов И.С.²

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия

²ФГБН ФИЦ «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук», Москва, Россия

³СПб ГБУЗ «Санкт-Петербургская городская психиатрическая больница № 1 им. П.П. Кашенко», Санкт-Петербург, Россия

Автор для корреспонденции: Ирина Ивановна Шошина, shoshinaii@mail.ru

Резюме

Обоснование: глазодвигательная дисфункция является одним из наиболее устойчивых и воспроизводимых маркеров шизофрении. Внимание исследователей в основном приковано к характеристикам макродвижений глаз при неврологических и психических расстройствах, тогда как особенности микродвижений глаз, в частности окулярного микротремора (ОМТ), генерируемого осцилляторами ствола мозга и мозжечка, мало изучены. **Цель исследования:** изучение потенциала ОМТ как маркера объективной оценки изменения функционального состояния пациентов с расстройствами шизофренического спектра. **Пациенты, группа контроля и методы:** в исследовании приняли участие 30 здоровых испытуемых, 47 пациентов с диагнозом «параноидная шизофрения», 27 пациентов с диагнозом «шизотипическое расстройство» и 20 пациентов с шизоаффективным расстройством. Инструментальную фиксацию ОМТ проводили методом сверхзамедленной видеосъемки. Вычисляли средние значения частоты и амплитуды ОМТ, а также частотность попадания значений частоты ОМТ в интервалы 0–40 Гц, 40–50 Гц, 50–60 Гц, 60–70 Гц, 70–100 Гц, 100–110 Гц и среднюю амплитуду ОМТ в каждом частотном диапазоне. **Результаты:** пациенты отличались от группы здорового контроля снижением высокочастотной составляющей (70–110 Гц) в спектре ОМТ и одновременным увеличением доли низкочастотной составляющей части спектра ОМТ (40–50 Гц). Внутригрупповое сравнение (W-критерий) показателей частоты ОМТ на момент включения в исследование и спустя 8 недель терапии антипсихотиками показало, что значимые изменения были обнаружены только в группе больных шизофренией по средней частоте ОМТ и по частотности попадания частоты ОМТ в диапазоны 60–70 Гц и 70–100 Гц. Статистически значимые изменения амплитуды ОМТ в ходе терапии зарегистрированы также лишь в группе больных шизофренией и только в низкочастотной составляющей ОМТ. Средние значения амплитуды ОМТ были выше в группах пациентов, независимо от их состояния, по сравнению со значениями амплитуды ОМТ здорового контроля. **Заключение:** потенциал использования регистрации ОМТ для оценки динамики функционального состояния при расстройствах шизофренического спектра восполняет недостающую информацию о нейрофизиологических механизмах заболевания и может служить инструментом дифференциальной диагностики и оценки динамики состояния.

Ключевые слова: шизофрения, шизотипическое расстройство, окулярный микротремор, динамика психического состояния

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 24-25-00494) «Зрительные функции как маркеры психического состояния при расстройствах шизофренического спектра».

Для цитирования: Шошина И.И., Ляпунов С.И., Моритц А.А., Бадалов А.А., Завитаев П.Ю., Пивняков М.Л., Лиманкин О.В., Ляпунов И.С. Окулярный микротремор при расстройствах шизофренического спектра в процессе стабилизации психического состояния. *Психиатрия*. 2026;24(1):54–63. <https://doi.org/10.30629/2618-6667-2026-24-1-54-63>

RESEARCH

UDC: 616.895.8; 616.89-02-085; 612.821.8
<https://doi.org/10.30629/2618-6667-2026-24-1-54-63>

The Ocular Microtremor in Schizophrenia Spectrum Disorders during the Process of Mental State Stabilization

Irina I. Shoshina¹, Sergey I. Lyapunov², Arslan A. Moritz¹, Andrey A. Badalov¹, Petr Yu. Zavitaev³, Maxim L. Pivnyakov³, Oleg V. Limankin³, Ivan S. Lyapunov³,

¹St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Prokhorov General Physics Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³Kashchenko Psychiatric Hospital № 1, St. Petersburg, Russia

Author for correspondence: Irina Ivanovna Shoshina, shoshinaii@mail.ru

Summary

Background: oculomotor dysfunction is one of the most stable markers of schizophrenia. At the same time, the attention of researchers is mainly focused on the characteristics of macro eye movements in nervous and mental disorders, while the features

of micro eye movements, in particular ocular microtremor (OMT) generated by the oscillators of the brainstem and cerebellum, poorly understood. **The aim** was to study the potential of OMT as a marker for objective assessment of changes in the functional state of patients with schizophrenia spectrum disorders. **Patients, Participants and Methods:** the study involved 30 healthy subjects, 47 patients with paranoid schizophrenia, 27 patients with schizotypal disorder and 20 patients with schizoaffective disorder. Instrumental recording of OMT was performed using the super-slow motion video recording method. Average values of OMT frequency and amplitude were calculated, as well as the frequency of OMT frequency values falling within the intervals of 0–40 Hz, 40–50 Hz, 50–60 Hz, 60–70 Hz, 70–100 Hz, 100–110 Hz and the average OMT amplitude in each frequency range. **Results:** patients differed from the healthy control group by a decrease in the high-frequency component (70–110 Hz) in the OMT spectrum with a simultaneous increase in the proportion of the low-frequency component (40–60 Hz). Intragroup comparison of OMT frequency indicators at the time of inclusion in the study and showed that significant changes were observed only in the group of patients with schizophrenia in the average OMT frequency and in the frequency of OMT frequency falling within the ranges of 60–70 Hz and 70–100 Hz after 8 weeks of antipsychotic therapy. Significant changes in the OMT amplitude during therapy were also observed only in the group of patients with schizophrenia and in the low-frequency component of the OMT. The average values of the OMT amplitude were higher in the groups of patients, regardless of their condition, compared with the values of the OMT amplitude in the healthy control. **Conclusion:** the potential of using OMT recording to assess the dynamics of the functional state in schizophrenia spectrum disorders can carry important, missing information about the neurophysiological mechanisms of the disease and serve as a tool for differential diagnosis and assessment of the dynamics of the condition.

Keywords: schizophrenia, schizotypal disorder, ocular microtremor, dynamics of mental state

Funding: this work was supported by a grant from the Russian Science Foundation (grant No. 24-25-00494) “Visual functions as markers of mental state in schizophrenia spectrum disorders”.

For citation: Shoshina I.I., Lyapunov S.I., Moritz A.A., Badalov A.A., Zavitaev P.Yu., Pivnyakov M.L., Limankin O.V., Lyapunov I.S. The Ocular Microtremor in schizophrenia spectrum disorders during the process of mental state stabilization. *Psychiatry (Moscow) (Psikhiatriya)*. 2026;24(1):54–63. (In Russ.). <https://doi.org/10.30629/2618-6667-2026-24-1-54-63>

ВВЕДЕНИЕ

Окулярный микротремор (ОМТ) — это произвольные высокочастотные (~87 Гц) низкоамплитудные микродвижения глаз, генерируемые нейронами ядер ствола головного мозга и мозжечка [1–3]. ОМТ может содержать много информации о мельчайших изменениях в нейромоторном контроле и уровне активности ствола головного мозга, которые могут быть не учтены другими более грубыми параметрами глазодвигательных реакций. Окулярный микротремор относится к категории микродвижений глаз, управляемых прецизионными мышечными волокнами [2, 3], которые в отличие от обычных мышечных волокон имеют не две, а несколько точек иннервации. Основная функция окулярного микротремора — поддерживать оптимальную остроту зрения и предотвращать угасание восприятия, которое могло бы произойти, если бы изображение на сетчатке оставалось полностью неподвижным в течение длительного времени [1–3]. Известно, что уменьшение частоты ОМТ наблюдается при поражении глазодвигательного нерва, снижении уровня сознания, а также при различных неврологических заболеваниях [4–6].

Внимание исследователей к потенциалу окулярного микротремора как маркера того или иного состояния было ограничено сложностью его регистрации. Продолжительное время для фиксации ОМТ использовали только пьезоэлектрические датчики [4], применение которых требовало местной анестезии. На сегодняшний день появились современные неинвазивные методы определения параметров ОМТ, такие как лазерные и видеотехнологии [1, 6]. Их появление существенно расширяет возможности изучения роли и особенностей ОМТ при различных функциональных состояниях в том числе при расстройствах шизофренического спектра [1, 4–7].

Глазодвигательная дисфункция является одним из наиболее устойчивых и воспроизводимых маркеров шизофрении [8–10]. Исторически сложилось так, что исследования особенностей глазодвигательной функции при психических расстройствах были сосредоточены на нарушениях макродвижений глаз: нистагма, плавных следящих движений глаз, саккадической дисметрии и аномалиях во время выполнения задач на антисаккаду [8–10]. Изменения характера глазодвигательных реакций при шизофрении и других расстройствах связывают с дисфункцией сети когнитивного контроля, включая дорсолатеральную префронтальную кору, заднюю теменную кору и переднюю поясную извилину [11].

Хотя в научной литературе основное внимание уделяется характеристикам макродвижений глаз при неврологических и психических расстройствах, нарушения микродвижений глаз, представленных, в частности ОМТ, в последнее время привлекают внимание как потенциально информативные маркеры объективной оценки психического состояния и диагностики, так и инструмент для понимания нейрофизиологических основ этого расстройства [4, 6, 7, 12].

Особое значение исследование универсальных и специфических биомаркеров приобретает для дифференциально-диагностического процедур, направленных на клиническое разграничение близких семиотических психопатологических единиц. В случае расстройств шизофренического спектра это в первую очередь дифференциальная диагностика собственно шизофрении, шизотипического и шизоаффективного расстройств. При этом наибольшей клинической значимостью в данном случае служат маркеры, позволяющие провести не только поиск дифференциальных критериев постановки диагноза, но и имеющие потенциал в качестве показателей эффективности

терапевтического вмешательства. По нашему мнению, одним из подобного рода биомаркеров в перспективе может стать исследование ОМТ пациентов с расстройствами шизофренического спектра.

Цель исследования: изучение потенциала ОМТ как маркера объективной оценки изменения функционального состояния пациентов с расстройствами шизофренического спектра после проведения терапии.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 30 здоровых испытуемых ($31,0 \pm 10,4$ года); 47 пациентов с диагнозом параноидной шизофрении — F20 согласно МКБ-10 ($30,4 \pm 6,6$ года), 27 пациентов с диагнозом шизотипического расстройства — F21 согласно МКБ-10 ($24,5 \pm 6,4$ года) и 20 пациентов с шизоаффективным расстройством — F25 согласно МКБ-10 ($32,0 \pm 10,1$ года). Набор пациентов осуществляли на клинической базе Городской психиатрической больницы № 1 им. П.П. Кащенко, г. Санкт-Петербург.

Этические аспекты

Все участники исследования подписали добровольное информированное согласие на участие в программе исследования. Проведение исследования соответствовало положениям Хельсинкской декларации 1964 г., пересмотренной в 1975–2024 гг., и одобрено локальным этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета (Протокол № E-2404-007 от 21.05.2024 г.).

Ethical aspects

All examined participants of study signed the informed consent to take part in a study. The research protocol was approved by Local Ethical Committee of St. Petersburg State University (protocol № E-2404-007 from 21.05.2024). This study complies with the Principles of the WMA Helsinki Declaration 1964 amended 1975–2024.

Критерии включения пациентов в исследование: 1) установленный диагноз расстройства шизофренического спектра (F20, F21, F25) согласно критериям МКБ 10-го пересмотра; 2) возраст от 18 до 45 лет; 3) нормальное или скорректированное до нормы зрение; 4) отсутствие органических поражений центральной нервной системы; 5) отсутствие тяжелых острых и хронических соматических заболеваний, требующих применения постоянной фармакологической терапии; 6) отсутствие алкогольной и/или наркотической зависимости; 7) согласие на участие в исследовании. Критерии включения для участников группы здорового контроля соответствовали пунктам 2–7, перечисленным для пациентов.

Критерии невключения пациентов с установленным диагнозом расстройства шизофренического спектра (F20, F21, F25): 1) возраст менее 18 и более 45 лет; 2) офтальмологические заболевания, которые не устраняются линзами очков и приводят к снижению зрительных функций; 3) наличие органических поражений

центральной нервной системы; 4) наличие сопутствующего тяжелого острого или хронического соматического заболевания; 5) алкогольная и/или наркотическая зависимость; 6) высокий риск суицидального и/или агрессивного поведения.

Для участников контрольной группы критериями невключения были: 1) возраст менее 18 или более 45 лет; 2) наличие в анамнезе психоневрологических заболеваний; 3) наличие родственников первой и второй линии родства с психоневрологическими заболеваниями; 4) наличие тяжелых острых или хронических соматических заболеваний в стадии обострения, требующих постоянной терапии; 5) наличие заболеваний органов зрения, не поддающихся коррекции; 6) итоговый балл по результатам заполнения шкалы депрессии Бека ≥ 14 ; итоговые баллы по результатам заполнения шкалы тревоги Спилбергера ≥ 31 для каждой из подшкал. За день до исследования участников просили не употреблять алкоголь, а в день проведения исследования — не употреблять кофеин и воздержаться от курения.

Острота зрения всех испытуемых была нормальной или скорректированной до нормы.

Испытуемые были обследованы с применением инструментального и психометрического методов в подостром состоянии и повторно при стабилизации состояния. В повторном исследовании не смогли принять участие пациенты, которые были выписаны из стационара раньше предполагаемой даты повторного обследования. В результате в повторном обследовании приняли участие: 24 пациента с параноидной шизофренией ($31,0 \pm 9,2$ года), 11 пациентов с шизотипическим расстройством ($25,3 \pm 9,3$ года) и 9 пациентов с шизоаффективным расстройством ($31,9 \pm 11,1$ года).

Пациенты получали терапию следующими антипсихотиками: палиперидон ($n = 10$; 22,7%), галоперидол ($n = 6$; 13,6%), арипипразол ($n = 6$; 13,6%), оланзапин ($n = 5$; 11,4%), карипразин ($n = 5$; 11,4%), клозапин ($n = 4$; 9,1%), рисперидон ($n = 4$; 9,1%), кветиапин ($n = 2$; 4,5%), луразидон ($n = 1$; 2,3%), зипрасидон ($n = 1$; 2,3%). Дозировку антипсихотиков сравнивали в оланзапиновом эквиваленте. У больных шизофренией этот показатель составил $20,2 \pm 6,1$ мг, у пациентов с шизотипическим расстройством — $13,5 \pm 7,7$ мг, с шизоаффективным расстройством — $21,8 \pm 5,6$ мг.

Оценку выраженности психопатологической симптоматики проводили по шкале позитивных и негативных симптомов (PANSS). Уровень экстрапирамидных симптомов оценивали по шкале оценки экстрапирамидных побочных эффектов (SAS).

Инструментальную регистрацию окулярного микротремора (ОМТ) проводили методом сверхзамедленной видеосъемки [1] с помощью оригинальной оптической системы (960 fps), состоящей из видеорегастратора, согласующей оптики и офтальмологического фонарика. Использование офтальмологического фонарика позволяло обеспечивать однородное освещение участка склеры, достаточное для качественной

Таблица 1. Динамика психометрических показателей в группах пациентов с шизофренией, шизотипическим расстройством и шизоаффективным расстройством

Table 1 Dynamics of psychometric indicators in groups of patients with schizophrenia, schizotypal disorder and schizoaffective disorder

| Показатели/Variants | Группы/Groups | | | | | | | | |
|--|--|------------------------------------|---------|--|------------------------------------|-------|---|------------------------------------|-------|
| | 1-я группа/1 st group (F20), n = 24 | | | 2-я группа/2 nd group (F21), n = 11 | | | 3-я группа/3 rd group (F25), n = 9 | | |
| | 1-й замер/ 1 st test | 2-й замер/ 2 nd test | p | 1-й замер/ 1 st test | 2-й замер/ 2 nd test | p | 1-й замер/ 1 st test | 2-й замер/ 2 nd test | p |
| PANSS Общий балл/PANSS Total score | 71,0 ± 13,8 | 51,5 ± 7,2 | < 0,001 | 65,4 ± 10,1 | 44,9 ± 7,5 | 0,021 | 70,1 ± 13,3 | 49,9 ± 5,6 | 0,014 |
| PANSS Позитивная подшкала/ PANSS Positive subscale | 15,2 ± 3,9 | 10,6 ± 2,0 | < 0,001 | 10,9 ± 2,5 | 8,0 ± 1,5 | 0,009 | 15,3 ± 3,2 | 10,3 ± 1,4 | 0,009 |
| PANSS Негативная подшкала/ PANSS Negative subscale | 21,7 ± 6,4 | 15,3 ± 4,6 | < 0,001 | 16,1 ± 4,6 | 11,5 ± 3,2 | 0,009 | 17,9 ± 4,5 | 13,4 ± 2,8 | 0,009 |
| PANSS Подшкала общей психопатологии/ PANSS General psychopathology subscale | 34,1 ± 7,1 | 25,6 ± 3,6 | < 0,001 | 38,4 ± 6,4 | 25,4 ± 4,0 | 0,004 | 37,0 ± 9,1 | 26,1 ± 3,8 | 0,007 |
| SAS Общий балл/SAS Total score | 2,4 ± 1,4 | 1,6 ± 0,9 | 0,002 | 1,5 ± 0,8 | 1,3 ± 0,7 | 0,96 | 2,0 ± 1,1 | 2,4 ± 1,5 | 0,92 |

видеозаписи. Испытуемого просили смотреть в сторону противоположную расположению используемого дополнительного источника освещения (офтальмологического фонарика), без требования фиксации на каком-либо объекте.

Для обработки полученных видеозаписей использовали программное обеспечение, разработанное под руководством С.И. Ляпунова в Институте общей физики им. Прохорова РАН. Вычисляли средние значения частоты и амплитуды микротремора, а также частотность попадания значений частоты ОМТ в интервалы 0–40 Гц, 40–50 Гц, 50–60 Гц, 60–70 Гц, 70–100 Гц, 100–110 Гц и среднюю амплитуду ОМТ в каждом частотном диапазоне. Выбор диапазонов обусловлен экспериментальными данными о диапазоне и средних значениях частоты ОМТ, описанных в научных публикациях. Количество кадров, по которым программно рассчитывали показатели ОМТ, составляло от 450 и более для каждого испытуемого. Особенности процедуры регистрации ОМТ обеспечили накопление большого количества данных для одного испытуемого, что, в свою очередь, позволило получить значимые результаты и сделать выводы на небольшой выборке испытуемых. Такой подход сделал возможным представление в данной статье и данных пациентов с шизоаффективным расстройством.

Статистический анализ выполняли с использованием языка программирования R (версия 4.4.1) в RStudio, версия 2024 12.0 + 467. Для проверки нормальности распределения данных использовали критерий Шапиро–Уилка. Так как не все данные соответствовали нормальному распределению, в качестве статистического метода анализа данных были выбраны непараметрические критерии для двух или более не связанных между собой выборок: U-критерий Манна–Уитни и H-критерий Краскала–Уоллиса. Для оценки динамики показателей внутри групп (параноидная шизофрения,

шизотипическое расстройство, шизоаффективное расстройство) использовали критерий W Вилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Клиническая картина

Данные клинико-инструментальной оценки динамики состояния участников исследования, страдающих шизофренией и шизотипическим расстройством, с помощью шкал PANSS и SAS представлены в табл. 1. Статистический анализ данных свидетельствует о значимой положительной динамике всех показателей клинической картины от первого ко второму обследованию во всех группах пациентов.

Средний показатель выраженности экстрапирамидных симптомов не достигал клинической значимости ни в одной из исследуемых групп.

Характеристики окулярного микротремора (ОМТ)

Средние значения частоты ОМТ для больных шизофренией составили 91,1 ± 3,4 Гц при первом обследовании в подостром состоянии и 88,3 ± 4,5 Гц при повторном обследовании в относительно более стабильном состоянии (рис. 1). Для пациентов с шизотипическим расстройством средние значения частоты ОМТ составили соответственно 85,1 ± 15,6 Гц и 87,9 ± 4,5 Гц; для пациентов с шизоаффективным расстройством соответственно 89,3 ± 4,8 Гц и 89,3 ± 3,9 Гц. Средняя частота ОМТ в группе контроля составила 91,9 ± 4,8 Гц.

Статистический анализ данных свидетельствует о значимых различиях средних значений ОМТ в подостром состоянии только у пациентов с шизотипическим расстройством в сравнении с группой здорового контроля (p = 0,03). В относительно стабильном состоянии пациенты всех групп демонстрировали меньшие средние значения частоты ОМТ по сравнению со здоровым контролем (p < 0,001).

Таблица 2. Спектр частоты ОМТ (среднее значение \pm стандартное отклонение) у больных шизофренией, шизотипическим расстройством и шизоаффективным расстройством в сравнении с группой здорового контроля
Table 2 The frequency spectrum of OMT (mean value \pm standard deviation) in patients with schizophrenia, schizotypal disorder, and schizoaffective disorder compared to a healthy control group

| Диапазон частоты ОМТ, Гц/Hz | Группы/ Groups | | | | | | Контроль/ Control |
|-----------------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|---|--------------------------------|-------------------|
| | 1-я группа/1 st group (F20), n = 24 | | 2-я группа/2 nd group (F21), n = 11 | | 3-я группа/3 rd group (F25), n = 9 | | |
| | 1-й замер/1 st test | 2-й замер/2 nd test | 1-й замер/1 st test | 2-й замер/2 nd test | 1-й замер/1 st test | 2-й замер/2 nd test | |
| 0–40 | 0,03 \pm 0,02* | 0,05 \pm 0,03* | 0,07 \pm 0,12* | 0,06 \pm 0,04* | 0,04 \pm 0,04* | 0,04 \pm 0,02* | 0,01 \pm 0,04 |
| 40–50 | 0,07 \pm 0,02* | 0,08 \pm 0,02* | 0,06 \pm 0,03* | 0,07 \pm 0,02* | 0,08 \pm 0,01* | 0,08 \pm 0,02* | 0,02 \pm 0,01 |
| 50–60 | 0,05 \pm 0,01 | 0,05 \pm 0,01 | 0,05 \pm 0,02 | 0,05 \pm 0,01 | 0,06 \pm 0,01 | 0,05 \pm 0,01 | 0,05 \pm 0,01 |
| 60–70 | 0,18 \pm 0,03* | 0,19 \pm 0,02* | 0,17 \pm 0,04* | 0,18 \pm 0,02* | 0,17 \pm 0,03* | 0,19 \pm 0,03* | 0,12 \pm 0,03 |
| 70–100 | 0,40 \pm 0,04* | 0,38 \pm 0,03* | 0,38 \pm 0,07* | 0,39 \pm 0,03* | 0,40 \pm 0,04* | 0,40 \pm 0,03* | 0,43 \pm 0,04 |
| 100–110 | 0,26 \pm 0,04* | 0,23 \pm 0,04* | 0,24 \pm 0,07* | 0,24 \pm 0,03* | 0,24 \pm 0,04* | 0,23 \pm 0,03* | 0,37 \pm 0,04 |

Примечание: * — $p < 0,001$ при сравнении параметра с группой контроля (U-критерий).

Note: * — $p < 0,001$ when comparing the parameter with the control group using the U-test.

58

Показатели частотности попадания частоты ОМТ в условно выделенные диапазоны спектра частоты ОМТ пациентов в сравнении с контрольной группой представлены в табл. 2.

Как видно из таблицы, исследуемые группы пациентов отличались от группы здорового контроля меньшей выраженностью в спектре ОМТ высокочастотной составляющей с одновременным увеличением доли низкочастотной составляющей.

В свою очередь, внутригрупповое сравнение (W-критерий) показателей частоты ОМТ на момент включения в исследование и спустя 8 недель терапии антипсихотиками показало, что статистически значимые изменения наблюдались только в группе больных шизофренией по средней частоте ОМТ ($Z = -2,49$, $p = 0,012$) и по частотности попадания частоты ОМТ в диапазоны 60–70 Гц ($Z = -2,49$, $p = 0,012$) и 70–100 Гц

($Z = -2,29$, $p = 0,021$). В то время как в других группах статистически значимых изменений не наблюдалось ($p > 0,05$).

Средние значения амплитуды ОМТ были больше в группах пациентов независимо от их состояния по сравнению со значениями амплитуды ОМТ здорового контроля ($p < 0,001$). Так, средняя амплитуда ОМТ в группе пациентов с шизофренией составила в подостром состоянии $0,44 \pm 0,13$ угл/мин и в относительно стабильном состоянии — $0,44 \pm 0,06$ угл/мин (рис. 2).

В группе пациентов с шизотипическим расстройством средняя амплитуда ОМТ составила соответственно, $0,51 \pm 0,20$ угл/мин и $0,43 \pm 0,06$ угл/мин; в группе лиц с шизоаффективным расстройством — $0,48 \pm 0,19$ угл/мин и $0,46 \pm 0,06$ угл/мин. Средняя амплитуда ОМТ в группе здорового контроля составила $0,26 \pm 0,19$ угл/мин.

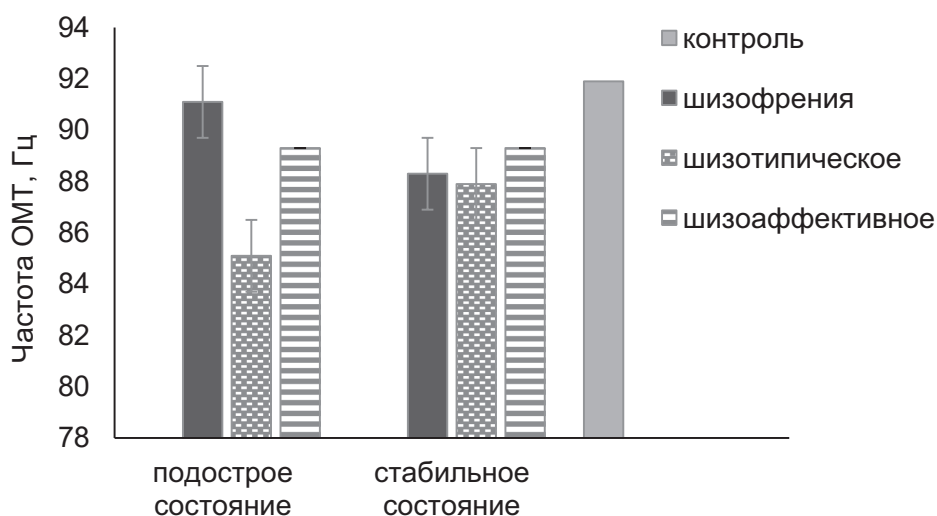


Рис. 1. Средняя частота ОМТ у лиц с расстройствами шизофренического спектра в подостром и стабильном состоянии сравнении со здоровым контролем

Fig. 1 Average frequency of OMT in patients with schizophrenia spectrum disorders in subacute and stable conditions compared to healthy controls

Таблица 3. Амплитуда окулярного микротремора (среднее значение ± стандартное отклонение) у больных шизофренией, шизотипическим расстройством и шизоаффективным расстройством в сравнении с группой здорового контроля

Table 3 The amplitude of ocular microtremor (mean ± standard deviation) in patients with schizophrenia, schizotypal disorder, and schizoaffective disorder compared to the healthy control group

| Диапазон частоты ОМТ, Гц/Hz | Группы/ Groups | | | | | | Контроль/ Control |
|-----------------------------|--|--|---|--|--|---|-------------------|
| | F20 | | F21 | | F25 | | |
| | 1-я группа / 1 st group (F20), n = 24 | 2-я группа / 2 nd group (F21), n = 11 | 3-я группа / 3 rd group (F25), n = 9 | 1-я группа / 1 st group (F20), n = 24 | 2-я группа / 2 nd group (F21), n = 11 | 3-я группа / 3 rd group (F25), n = 9 | |
| 0–40 | 0,40 ± 0,15* | 0,42 ± 0,10* | 0,42 ± 0,13* | 0,41 ± 0,11* | 0,38 ± 0,18* | 0,44 ± 0,15* | 0,10 ± 0,18 |
| 40–50 | 0,55 ± 0,07* | 0,48 ± 0,10* | 0,51 ± 0,12* | 0,47 ± 0,06* | 0,53 ± 0,08* | 0,49 ± 0,09* | 0,24 ± 0,08 |
| 50–60 | 0,50 ± 0,13* | 0,47 ± 0,09* | 0,52 ± 0,27* | 0,44 ± 0,11* | 0,53 ± 0,26* | 0,47 ± 0,06* | 0,27 ± 0,26 |
| 60–70 | 0,51 ± 0,07* | 0,47 ± 0,05* | 0,52 ± 0,21* | 0,45 ± 0,03* | 0,50 ± 0,13* | 0,48 ± 0,05* | 0,26 ± 0,13 |
| 70–100 | 0,44 ± 0,14* | 0,44 ± 0,07* | 0,51 ± 0,23* | 0,43 ± 0,11* | 0,48 ± 0,22* | 0,45 ± 0,07* | 0,26 ± 0,22 |
| 100–110 | 0,37 ± 0,20 | 0,41 ± 0,11* | 0,47 ± 0,21* | 0,41 ± 0,11** | 0,45 ± 0,28*** | 0,43 ± 0,10** | 0,26 ± 0,28 |

Примечание: * — $p < 0,001$ при сравнении с группой контроля (U-критерий); ** — $p = 0,001$ при сравнении с группой контроля (U-критерий); *** — $p = 0,048$ при сравнении с группой контроля (U-критерий).

Note: * — $p < 0,001$ when compared to the control group using the U-test; ** — $p = 0,001$ when compared to the control group using the U-test; *** — $p = 0,048$ when compared to the control group using the U-test.

Анализ достоверности различий пациентов исследуемых групп с контрольной группой по амплитуде ОМТ в различных диапазонах частоты ОМТ также продемонстрировал значимые различия (табл. 3).

Между тем в динамике статистически значимые изменения амплитуды ОМТ в ходе терапии зарегистрированы лишь в группе больных шизофренией в диапазоне частоты ОМТ 40–50 Гц ($Z = 2,17, p = 0,029$).

При проведении корреляционного анализа были обнаружены значимые связи между параметрами ОМТ и клиническими показателями. Дозировка антипсихотиков в оланзапиновом эквиваленте была умеренно отрицательно взаимосвязана со средними значениями амплитуды ОМТ ($\rho = -0,32, p = 0,037$), а также амплитудой ОМТ в диапазоне 70–100 Гц ($\rho = -0,31, p = 0,041$)

и 100–110 Гц ($\rho = -0,31, p = 0,040$). Выраженность негативной симптоматики по подшкале PANSS была умеренно отрицательно связана со средними значениями амплитуды ОМТ ($\rho = -0,33, p = 0,031$), а также амплитудой ОМТ в диапазоне 100–110 Гц ($\rho = -0,34, p = 0,027$) и положительно коррелировала с амплитудой ОМТ в диапазоне 60–70 Гц ($\rho = 0,43, p = 0,004$). Помимо этого, степень выраженности экстрапирамидных симптомов отрицательно коррелировала с частотой ОМТ в диапазоне 40–50 Гц ($\rho = -0,37, p = 0,013$).

Полученные результаты иллюстрируют как сходства, так и различия в показателях ОМТ при шизофрении, шизотипическом расстройстве и шизоаффективном расстройстве, относимых к расстройствам шизофренического спектра. Сходство заключается в том,

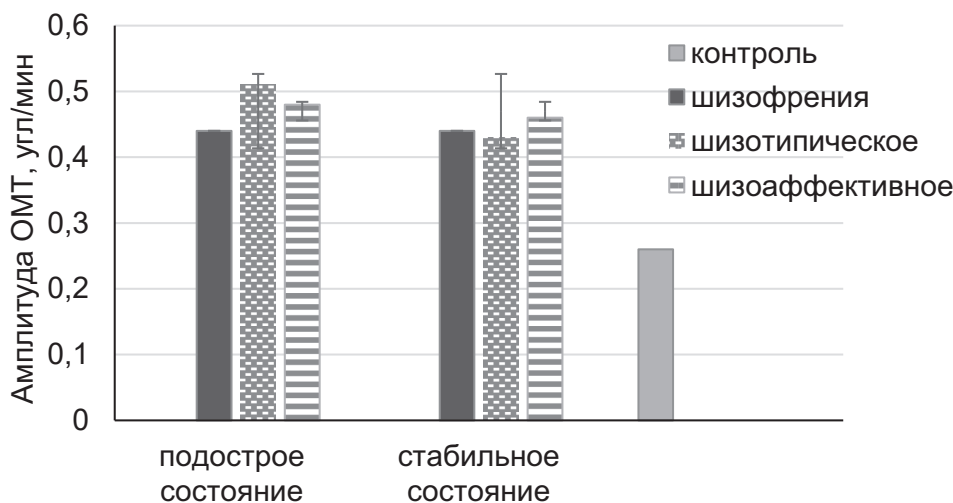


Рис. 2. Средняя амплитуда ОМТ у лиц с расстройствами шизофренического спектра в подостром и стабильном состоянии в сравнении со здоровым контролем

Fig. 2 Average amplitude of OMT in patients with schizophrenia spectrum disorders in subacute and stable conditions compared to healthy controls

что в стабильном состоянии все группы пациентов демонстрировали меньшие значения средней частоты ОМТ с одновременно более высокими значениями амплитуды ОМТ по сравнению со здоровым контролем. Более высокие значения амплитуды ОМТ по сравнению со здоровым контролем были характерны и для подострого состояния. Кроме того, исследуемые группы пациентов отличались от группы здорового контроля меньшей долей в спектре ОМТ высокочастотной составляющей с одновременно большей представленностью низкочастотной составляющей.

При анализе данных в динамике от подострого состояния до его стабилизации различия в характеристиках ОМТ для исследуемых групп пациентов наблюдались лишь в группе пациентов с шизофренией. Пациенты, страдающие шизофренией, демонстрировали значимое изменение доли низкочастотной составляющей части спектра ОМТ от 40 до 50 Гц.

По нашему мнению, различия связаны с отличительными особенностями, присущими каждой из описываемых клинических групп. Несмотря на сходство указанных расстройств, входящих в одну и ту же диагностическую рубрику F2, представленную патологией шизофренического спектра, данные заболевания имеют разные клинко-патогенетические и нозологические особенности, предопределившие полученные расхождения в показателях нейрофункционирования.

Шизофрения является расстройством, имеющим процессуально-прогредиентный характер с постепенным нарастанием симптомов дефекта, в первую очередь, апатобулического, со снижением амплитуды личностного реагирования вплоть до разрушения личностной структуры [13]. Психотерапия при шизофрении является фактором, способствующим сдерживанию процесса прогрессирующего снижения уровня личности. Изменение показателей частоты ОМТ у пациентов 1-й группы обусловлено, согласно нашей гипотезе, подобного рода остановкой процессуальной динамики состояния пациента терапевтического генеза.

Клинко-нозологические особенности шизотипического и шизоаффективного расстройств разительно отличаются от классических форм шизофрении, к которым, в том числе, относится входящая в критерии отбора пациентов 1-й группы параноидная форма. В случае шизотипического расстройства существует связь с психопатологическим диатезом, включающим в себя различные субклинические нервно-психические расстройства, свидетельствующие о недостаточности адапционно-компенсаторных возможностей организма и его готовности реагировать патологическим образом на внутренние и внешние стрессовые факторы. Причем в случае отсутствия влияния стресса и при адекватной терапии и реабилитации манифестная форма психического расстройства редуцируется практически полностью, без формирования симптомов, относящихся к т.н. «процессуальным», однако с сохранением личностных, характерологических особенностей индивида.

Шизотипическому расстройству присущи особенности, отличающие его от шизофрении. В первую очередь к этим особенностям относят факультативность психотических расстройств, носящих транзиторный характер, и отсутствие признаков выраженного дефекта (в частности, редукции энергетического потенциала) в динамике личностной трансформации [14]. При наличии несомненной связи с собственно шизофренией шизотипическое расстройство демонстрирует феномены, которые можно трактовать как характерологические особенности пациентов, что также указывает на его сходство с психопатологическим диатезом. Именно поэтому, на наш взгляд, полученные результаты, иллюстрирующие особенности нейрофункционирования данных лиц, не демонстрируют выраженной динамики на фоне психотерапии, при наличии, однако, тенденции некоторого изменения показателей, не достигающего уровня статистической значимости [15, 16].

Гетерогенность шизоаффективного расстройства и непрекращающиеся дискуссии относительно его диагностической специфичности затрудняют интерпретацию полученных данных [17, 18]. Однако имеющиеся результаты исследований, характеризующие генетическую самостоятельность данной патологии, позволяющая отделять шизоаффективное расстройство от сходных форм ментальных расстройств, в том числе от рекуррентной шизофрении и аффективного психоза [19, 20]. А имеющиеся особенности его течения, подробно описанные еще в группе т.н. «дегенеративных психозов» (в том числе «краевых психозов» Клейста–Леонгарда) и включающие в себя периодичность течения с практически полной редукцией симптомов в межприступном периоде без формирования признаков дефекта и сохранением конституциональных характерологических особенностей, также указывают на близость (если не прямую принадлежность) данного расстройства к психопатологическому диатезу [14, 16]. Присущие лицам с шизоаффективным расстройством признаки выразительного эмоционального резонанса, сохраняющиеся в межприступном периоде, отличают его от шизотипического расстройства и свидетельствуют о еще меньшей «прогредиентности» шизоаффективного расстройства по сравнению с шизотипическим расстройством [21]. Кроме того, эмоциональная сохранность указывает на больший удельный вес конституциональных особенностей, присущих индивиду, по сравнению с приобретенными чертами личностной трансформации, более характерными для пациентов с шизотипическим расстройством. А это, в свою очередь, может объяснять отсутствие значимых изменений показателей ОМТ по результатам исследования пациентов на фоне лекарственной терапии даже на уровне тенденции.

Выводы

В исследовании установлены особенности показателей ОМТ при шизофрении, шизотипическом и шизоаффективном расстройствах по сравнению

с показателями здорового контроля. Продемонстрирован потенциал использования характеристик ОМТ для диагностики расстройств шизофренического спектра, оценки динамики функционального состояния пациентов.

Полученные данные расширяют представления о нарушении глазодвигательных функций при расстройствах шизофренического спектра, могут служить основой для дальнейших исследований роли ОМТ, его особенностей при различных состояниях и нейрофизиологических механизмах расстройств.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Ляпунов СИ, Шошина ИИ, Ляпунов ИС. Треморные колебания глаз как объективный показатель утомления водителей. *Физиология человека*. 2022;48(1):71–77. doi: 10.31857/S013116462201009X Lyapunov SI, Shoshina II, Lyapunov IS Tremor Eye Movements as an Objective Marker of Driver's Fatigue. *Human Physiology*. 2022;48(1):71–77. (In Russ.). doi: 10.31857/S013116462201009X
2. Shakhnovich A. Brain and Regulation of Eye Movement. 1st ed. Springer; 2012.
3. Кубарко АИ, Лихачев СА, Кубарко НП. Зрение (нейрофизиологические и нейроофтальмологические аспекты). Минск: БГМУ. 2009;2:352. Kubarko AI, Lihachev SA, Kubarko NP. Zrenie (neurofiziologicheskie i nejrooftal'mologicheskie aspekty). Minsk: BGMU. 2009;2:352. (In Russ.).
4. Graham L, Das J, Vitorio R, McDonald C, Walker R, Godfrey A, Morris R, Stuart S. Ocular microtremor: a structured review. *Exp Brain Res*. 2023;241(9):2191–2203. doi: 10.1007/s00221-023-06691-w
5. Graham L, Vitorio R, Walker R, Barry G, Godfrey A, Morris R, Stuart S. Digital Eye-Movement Outcomes (DEMOs) as Biomarkers for Neurological Conditions: A Narrative Review. *Big Data Cogn. Comput*. 2024;8:198. doi: 10.3390/bdcc8120198
6. Graham L, Vitorio R, Walker R, Godfrey A, Morris R, Stuart S. Digital measurement of ocular microtremor in Parkinson's disease: Protocol for a pilot study to assess reliability and clinical validation. *Plos One*. 2025;20. doi: 10.1371/journal.pone.0313452
7. Косикова АВ., Шошина ИИ., Ляпунов СИ., Гусейнова ЗТ., Ляпунов ИС., Радивилко АА., Иванов МВ. Характеристики контрастной чувствительности зрительной системы и микротремора глаз при шизофрении. *Психиатрия*. 2024;22(1):58–67. doi: 10.30629/2618-6667-2024-22-1-58-67 Kosikova AV, Shoshina II, Lyapunov SI, et al. Characteristics of Visual Contrast Sensitivity and Ocular Microtremor in Schizophrenia. *Psychiatry (Moscow) (Psikhiatriya)*. 2024;22(1):58–67. (In Russ.). doi: 10.30629/2618-6667-2024-22-1-58-67
8. Athanasopoulos F, Saprikis OV, Margeli M, Klein C, Smyrnis N. Towards Clinically Relevant Oculomotor Biomarkers in Early Schizophrenia. *Front Behav Neurosci*. 2021 Jun 10;15:688683. doi: 10.3389/fnbeh.2021.688683 PMID: 34177483; PMCID: PMC8222521.
9. Morita K, Miura K, Kasai K, Hashimoto R. Eye movement characteristics in schizophrenia: A recent update with clinical implications. *Neuropsychopharmacol Rep*. 2020 Mar;40(1):2–9. doi: 10.1002/npr2.12087 Epub 2019 Nov 27. PMID: 31774633; PMCID: PMC7292223.
10. Морозова АЮ, Зубков ЕА, Зоркина ЯА, Резник АМ, Костюк ГП, Чехонин ВП. Генетические аспекты шизофрении. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2017;117(6):126–132. doi: 10.17116/jnevro201711761126-132 Morozova AYU, Zubkov EA, Zorkina IaA, Reznik AM, Kostyuk GP, Chekhonin VP. Genetic aspects of schizophrenia. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2017;117(6):126–132. (In Russ.). doi: 10.17116/jnevro201711761126-132
11. Damilou A, Apostolakis S, Thrapsanioti E, Theleritis C, Smyrnis N. Shared and distinct oculomotor function deficits in schizophrenia and obsessive-compulsive disorder. *Psychophysiology*. 2016;53(6):796–805. doi: 10.1111/psyp.12630
12. Shoshina I, Kosikova A, Karlova A, Lyapunov I. Optical registration of eye microtremor: results and potential use. *Procedia Computer Science*. 2023;225:3832–3838. doi: 10.1016/j.procs.2023.10.379
13. Шмуклер АБ. Шизофрения. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2017:176. Shmukler AB. Schizophrenia. Moscow: GEOTAR-Media Publ., 2017:176. (In Russ.).
14. Коцюбинский АП. Аутохтонные непсихотические расстройства. СПб. 2015. Kotsyubinskij AP. Autokhtonnye nepsikhoticheskie rasstrojstva. SPb. 2015. (In Russ.).
15. Коцюбинский АП. Шизотипическое расстройство. В кн.: Психиатрия. Национальное руководство. Изд. 3-е, испр. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2018;264–279. Kotsyubinskiy AP. Schizotypal disorder. In: *Psikhiatriya. Natsionalnoe rukovodstvo*. 3rd ed M.: GEOTAR-Media. 2018;264–279. (In Russ.).
16. Циркин СЮ. Аналитическая психопатология. Изд. 3-е, испр. и доп. М.: Бином. 2012:288. Tsirkin SYu. Analiticheskaya psikhopatologiya. 3rd ed. M.: Binom. 2012:288. (In Russ.).
17. Шашкова НГ, Сальникова ЛИ, Кирьянова ЕМ. Шизоаффективное расстройство: современное состояние вопроса. *Социальная и клиническая психиатрия*. 2022;32(3):63–72. Shashkova NG, Sal'nikova LI, Kir'yanova EM. Schizo-affective disorder: the current state of the issue. *Social and Clinical Psychiatry*. 2022;32(3):63–72. (In Russ.).
18. Павличенко АВ, Петрова НН, Столяров АР. Современная концепция шизоаффективного расстройства: нарративный обзор литературы. *Consortium Psychiatricum*. 2024;5(3):42–55. doi: 10.17816/CP15513

Pavlichenko AV, Petrova NN, Stolyarov AR. The Modern Concept of Schizoaffective Disorder: a Narrative Review *Consortium Psychiatricum*. 2024;5(3):42–55. doi: 10.17816/CP15513

19. Пантелеева ГП, Артюх ВВ, Копейко ГИ, Бологов ПВ, Никифорова ИЮ, Щекал КЭ. Клинико-генетические особенности и нозологическая оценка шизоаффективного психоза в систематике эндогенных приступообразных психозов. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2011;111(4):12–21. Panteleeva GP, Artiukh VV, Kopeiko GI, Bologov PV, Nikiforova IYu, Shchekal KE. Clinical-genetic parameters and the nosological evaluation of schizoaffective psychosis in systematics of attack-like endogenous psychoses. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2011;111(4):12–21. (In Russ.).
20. Голимбет ВЕ, Пантелеева ГП, Бологов ПВ, Коровайцева ГИ, Абрамова ЛИ. Молекулярно-генетический подход к клинической и нозологической дифференциации шизоаффективного психоза. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2010;110(10):48–52. Golimbet VE, Panteleeva GP, Bologov PV, Korovaitseva GI, Abramova LI. Molecular-genetic approach to the clinical and nosologic differentiation of schizoaffective disorder. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2010;110(10):48–52. (In Russ.).
21. Незнанов НГ, Иванов МВ. Негативные и когнитивные расстройства при эндогенных психозах: диагностика, клиника, терапия. М.: МЕДпресс-информ; 2021:320. Neznanov NG, Ivanov MV. Negative and cognitive disorders in endogenous psychoses: diagnostics, clinical features, therapy. M.: MEDpressinform; 2021:320. (In Russ.).

Сведения об авторах

Ирина Ивановна Шошина, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

shoshinai@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8113-1680>

Арслан Ахмедович Моритц, инженер-исследователь, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

moritzar@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5786-5078>

Сергей Иванович Ляпунов, старший научный сотрудник, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия

dc.cetsil@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8819-9138>

Андрей Аскарлович Бадалов, старший преподаватель, кафедра медицинской психологии, психиатрии и психотерапии, Кыргызско-Российский Славянский университет имени первого Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина, Бишкек, Кыргызская Республика

andrey.badalov@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9617-1637>

Петр Юрьевич Завитаев, врач-психиатр, Санкт-Петербургская городская психиатрическая больница № 1 им/ П.П. Кащенко, Санкт-Петербург, Россия

zavit@rambler.ru; <https://orcid.org/0009-0009-6593-9493>

Максим Леонидович Пивняков, врач-психиатр, Санкт-Петербургская городская психиатрическая больница № 1 им/ П.П. Кащенко, Санкт-Петербург, Россия

pivniakov@gmail.com

Олег Васильевич Лиманкин, доктор медицинских наук, Санкт-Петербургская городская психиатрическая больница № 1 им/ П.П. Кащенко, Санкт-Петербург, Россия

limankin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6318-7536>

Иван Сергеевич Ляпунов, научный сотрудник, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия

dront78@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-5535-5322>

Information about the authors

Irina I. Shoshina, Dr. of Sci. (Med.), Dr. of Biological Sciences, chief researcher, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

shoshinai@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8113-1680>

Arslan A. Moritz, research engineer, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

moritzar@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5786-5078>

Sergey I. Lyapunov, Senior Researcher, Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

dc.cetsil@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8819-9138>

Andrey A. Badalov, senior Lecturer, Department of Medical Psychology, Psychiatry and Psychotherapy, Yeltsin Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek, Kyrgyz Republic
andrey.badalov@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9617-1637>.

Petr Yu. Zavitaev, psychiatrist, Kashchenko Psychiatric Hospital № 1, St. Petersburg, Russia
zavit@rambler.ru; <https://orcid.org/0009-0009-6593-9493>

Maxim L. Pivnyakov, psychiatrist, Kashchenko Psychiatric Hospital № 1, St. Petersburg, Russia
pivniakov@gmail.com

Oleg V. Limankin, Doctor of Medical Sciences, Kashchenko Psychiatric Hospital № 1, St. Petersburg, Russia
limankin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6318-7536>

Ivan S. Lyapunov, Researcher, Prokhorov General Physics Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
dront78@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-5535-5322>

Благодарность

Авторы выражают глубокую благодарность Вере Александровне Смольяниновой — выпускнице магистратуры «Когнитивные исследования» Санкт-Петербургского государственного университета.

Acknowledgement

The authors thank Vera A. Smolyaninova, master's graduate on “Cognitive research” of St. Petersburg State University.

Вклад авторов

Шошина И.И. — руководство исследованием, получение финансирования, формулирование идеи, исследовательских целей и задач, разработка методологии исследования, сбор данных и их интерпретация, визуализация данных, написание статьи и редактирование;

Ляпунов С.И. — формулирование идеи и разработка методологии исследования, разработка алгоритмов, аккумуляция данных и их анализ;

Моритц А.А. — сбор данных, аккумуляция и анализ данных исследования;

Бадалов А.А. — помощь в интерпретации данных исследования;

Завитаев П.Ю. — обеспечение проведения исследования, подбор пациентов;

Пивняков М.Л. — обеспечение проведения исследования, подбор пациентов;

Лиманкин О.В. — организация проведения исследования;

Ляпунов И.С. — разработка программного обеспечения, реализация компьютерного кода и вспомогательных алгоритмов, синхронизация потока данных.

Authors' contributions

Irina I. Shoshina — study management, funding acquisition, formulation of the concept, research goals and objectives, development of the research methodology, data collection and interpretation, data visualization, manuscript writing and editing;

Sergey I. Lyapunov — formulation of the idea and development of the research methodology, development of algorithms, accumulation of data and its analysis;

Arslan A. Moritz — data collection, accumulation and analysis of research data;

Andrey A. Badalov — assistance with data interpretation;

Petr Yu. Zavitaev — ensuring the conduct of the study, patient recruitment;

Maxim L. Pivnyakov — ensuring the conduct of the study, patient recruitment;

Oleg V. Limankin — organization of the research;

Ivan S. Lyapunov — software development, implementation of the computer code and auxiliary algorithms, data flow synchronization.

Конфликт интересов/Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

| | | |
|--|--|--|
| Дата поступления 23.08.2025 Received 23.08.2025 | Дата рецензирования 03.10.2025 Revised 03.10.2025 | Дата принятия к публикации 26.11.2025 Accepted for publication 26.11.2025 |
|--|--|--|